

O ESTADO DA ARTE SOBRE ESTEQUIOMETRIA: DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM E ESTRATÉGIAS DE ENSINO

Lívia Cristina Santos

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil
liviaquimili@hotmail.com

Márcia Gorette Lima da Silva

Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil
marciaglsilva@yahoo.com.br

RESUMO: O artigo se refere a um levantamento da produção científica relacionada ao ensino de estequiometria, dando-se destaque especial às dificuldades de aprendizagem dos alunos e às estratégias de ensino com relação à estequiometria. Estudos da arte podem auxiliar a pesquisadores, pós-graduandos e professores a ter um panorama sobre o objeto de estudo. A pesquisa foi realizada em 31 bases de dados de periódicos e eventos nacionais e internacionais desde os primeiros números. Os resultados sinalizam que diferentes estratégias são propostas a partir das dificuldades. As principais dificuldades referem-se a abstração e transição entre os níveis macroscópico, microscópico e simbólico de representação da matéria; grandeza do Constante de Avogrado; confusão entre mol/quantidade de matéria/Constante de Avogrado/massa molar e no manejo de técnicas matemáticas.

PALAVRAS CHAVE: Estequiometria, dificuldades de aprendizagem, estratégias de ensino, estado da arte.

OBJETIVO

Nosso estudo tem como objetivo apresentar um panorama das pesquisas realizadas e/ou divulgadas sobre estequiometria no que se refere às investigações sobre dificuldades de aprendizagem e estratégias de ensino.

MARCO TEÓRICO

A Química é a ciência que estuda a composição dos materiais, suas propriedades e transformações. Isto envolve a compreensão da matéria sob o ponto de vista macroscópico (das propriedades e modificações perceptíveis através dos sentidos humanos) e microscópico (entidades elementares e seus comportamentos), este último é desenvolvido através de modelos explicativos. Nos últimos anos vemos a elevada produção de conhecimento e crescimento de pesquisas, entretanto, apesar da divulgação, o acesso e incorporação destes resultados na escola é limitado. Ao mesmo tempo, à medida que o n° de pesquisas

aumenta e cresce o volume de informações, a área de investigação vai adquirindo densidade, surgindo a necessidade de avaliarmos criticamente o que já foi feito. Isso pressupõe, entre outras coisas, uma análise descritiva do conjunto dessa produção, visando a uma avaliação quali-quantitativa do campo de pesquisa. Isto é, conhecer as pesquisas dedicadas ao estudo de um conjunto determinado de investigações sobre uma área, um tema de interesse específico ou ainda um campo específico de estudo: o *estado da arte*. Segundo Megid Neto e Pacheco (2001), são trabalhos de revisão de literatura que analisam a evolução histórica da produção, tendências temáticas e metodológicas, os principais resultados das investigações, problemas e limitações, as lacunas e áreas ainda não exploradas, dentre muitos outros aspectos (Bejarano; Carvalho, 2000).

Ao considerar a química escolar entendemos que se faz uso de símbolos como representações dos materiais e suas transformações. Essa simbologia faz parte de uma linguagem específica, que é necessária à comunicação na área e ao trabalho com os diferentes níveis: descritivo e funcional (macroscópico), simbólico (representacional) e explicativo (microscópico). A manipulação de fatores característicos desses três níveis de interpretação é essencial no processo de incorporação desta linguagem. O conteúdo de estequiometria é essencial no aprendizado da Química, pois envolve a transição constante entre os três domínios da matéria. De que forma? A estequiometria é o campo que lida com as relações quantitativas das transformações químicas que estão implícitas nas fórmulas e nas equações químicas. Estas últimas são expressões simbólicas para as relações quantitativas a nível macroscópico e microscópico. Ou seja, para aprender estequiometria é necessário compreender a representação das transformações químicas em seus três níveis.

METODOLOGIA

Para a elaboração deste estudo procuramos fazer um levantamento dos trabalhos publicados na área de Ensino de Química utilizando como ferramentas de busca 4 fontes: periódicos¹ qualificados pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) na área de Ensino que continham publicações sobre química, nos idiomas português, espanhol ou inglês e outros periódicos recomendados por pesquisadores mais experientes; bases de dados; anais de encontros nacionais e internacionais; e outras referências citadas em publicações como teses e dissertações. Foram consultadas 31 bases de dados com os termos estequiometria, equação química, leis ponderais, lei da conservação das massas, lei das proporções constantes/múltiplas, mol, Constante de Avogrado, balanceamento, reagente limitante, fórmulas químicas, rendimento, pureza e quantidade de matéria. Após a consulta e análise dos documentos foi estruturada em função do objeto de estudo (dificuldades e estratégias de ensino).

1. Alambique, Alexandria, Annales de Didactique et de Sciences Cognitives, Ciência & Ensino, Ciência e Educação, Ciência em tela, Educación Química, Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências, Enseñanza de las Ciencias, Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, Experiências em Ensino de Ciências, International Journal of Science Education, Investigações em Ensino de Ciências, JCOM, Journal of Science Communication, Journal of Science Education and Technology, Química Nova na Escola, Química Nova, REEC. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Revista Brasileira de Ensino de Química, Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias, Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, Research in Science Education, Research in science & technological education e Science & Education.

RESULTADOS

Dificuldades de Aprendizagem

Os trabalhos analisados sinalizam que o tema estequiometria é de difícil aprendizagem para os alunos e, por esse motivo, muitos se dedicam a compreender as razões pelas quais cometem equívocos ao verbalizar e aplicar conceitos em estequiometria (Tóth;Sebéstyén, 2009; Schmidt, 1990; Boujaoude;Barak 2003). Entre as causas são citadas a dificuldade de abstração e transição entre os níveis macroscópico, microscópico e simbólico de representação da matéria (Savoy, 1988; Andersson, 1990; Huddley; Pillay, 1996; Arasasingham et al, 2004); grandeza da Constante de Avogrado; confusão entre mol/quantidade de matéria/Constante de Avogrado/massa molar (Duncan; Johnstone, 1973; Staver; Lumpe, 1995) e dificuldades no manejo de técnicas matemáticas (Gabel;Sherwood, 1984). Observamos que estas se repetem independentemente da faixa etária e da região geográfica.

Um exemplo de investigações desta natureza foi desenvolvido por Landau e Lastres (1996) em que estudam a opinião de estudantes ingressantes em um curso universitário de química quanto à conservação da matéria em uma transformação química. Outros estudos (Driver, 1985; Llorens, 1988) indicam a dificuldade em compreender a conservação das massas. No Brasil, Rosa e Schnetzler (1998) apresentam uma revisão da literatura a respeito das concepções alternativas dos alunos sobre transformação química. Como causas apontadas na literatura para essas concepções destacam-se a falta de discussões sobre o conhecimento científico e a não explicitação por parte dos professores e materiais didáticos das relações entre os níveis microscópico e macroscópico. Verone e Piazza (2007) observaram que alunos brasileiros ao balancear equações químicas conseguiam identificar a quantidade de átomos de um elemento nas fórmulas químicas, mas não compreendem o significado dessas fórmulas, mostrando que não as interpretam em nível microscópico e certa dificuldade nos cálculos matemáticos de proporções ao resolver problemas envolvendo leis ponderais.

Outro estudo apresentava a dificuldade de aprendizagem sobre o conceito de quantidade de substância e de sua unidade, o mol (Garcia et al, 1990) os quais, por si só, produzem confusões por provocar a associação da grandeza cuja unidade é o mol com qualquer uma dessas outras, quando na realidade tratamos de uma magnitude diferente. Sinalizava que não compreendiam as relações estabelecidas entre a quantidade de matéria e as outras grandezas, mas demonstravam entender que a quantidade de matéria é o mesmo que massa ou volume. Além disso, foram relatadas dificuldades na diferenciação entre massa molecular e massa molar e na compreensão de conservação de matéria em uma reação e dos significados das relações estequiométricas em uma reação química, independente no nível de ensino.

Furió et al (1993) estudam representações mentais dos estudantes referentes à quantidade de substância e em que medida a formação do ensino secundário contribuiu para uma visão dessa grandeza. Entretanto, ao analisar aqueles estudantes mais adiantados nos estudos, verificava-se uma diminuição no número de alunos que associavam quantidade de matéria à massa enquanto que aumentava a quantidade deles que associava essa grandeza ao volume. Os autores inferem que a forma operativista como o conceito de mol é introduzido, sem aproximação com as ideias que fazem parte de sua origem e evolução, impede a atribuição pelo aluno de significado a essa unidade, resultando em suas dificuldades. Furió, Azcona e Guisasola (1999), partem da hipótese de que as dificuldades dos estudantes estão relacionadas à falta de conhecimento docente sobre a gênese e evolução do significado dos conceitos de quantidade de matéria e mol.

Padilla, Furió e Azcona (2005) investigam as concepções históricas e epistemológicas de professores universitários sobre os conceitos de quantidade de substância e mol e como estes são tratados em 30 livros universitários de química e identificaram inconsistências conceituais na compreensão dos

conceitos de quantidade de substância e mol, como a confusão dos conceitos com massa ou Constante de Avogrado. No Brasil, Rogado (2005) promove um estudo similar com resultados parecidos.

Categoria Estratégias de ensino

Há um número significativo de trabalhos produzidos nos últimos anos, incluindo de 2001 a 2011, sobre esta categoria, especialmente a partir do avanço das pesquisas sobre dificuldades de aprendizagem. Entre as estratégias de ensino desenvolvidas para o ensino do conteúdo de estequiometria estão: o uso de modelos e analogias (Tóth, 1999; Thamburaj, 2001; Witzel, 2002; Haim et al, 2003; Ault, 2006); a abordagem por meio de mudança conceitual (Wood e Breyfogle, 2006; Dahsah et al, 2008); o uso da aprendizagem cooperativa (Balocchi et al, 2005;2006); o ensino por resolução de problemas (Nakhleh,1993; Schmidt,1997; Bird, 2006), o desenvolvimento e uso de *softwares* que auxiliam os estudantes na compreensão e resolução de problemas (Robinson, 2003) entre outros.

Migliato Filho (2005) desenvolveu minicursos sobre estequiometria com alunos de ensino médio, usando como recurso didático modelos moleculares. O autor introduz o tema em uma discussão teórica com atividades experimentais. Outra proposta para trabalhar a relação entre os níveis de descrição da matéria foi apresentada por Davidowitz et al. (2010) em que ressaltam o valor do uso de diagramas que representem o mundo microscópico para auxiliar na visualização dos conceitos. Os autores alertam que o uso de diagramas podem levar a erros conceituais, como por exemplo, a representação de reações com apenas a quantidade estequiométrica de moléculas de cada reagente quando na realidade há várias moléculas envolvidas no meio reacional.

Sobre o ensino do conceito de quantidade de substância Balocchi et al (2005; 2006) publicam três artigos onde abordam o uso da aprendizagem cooperativa no ensino deste conceito usando como base na teoria atômica de Dalton.

CONCLUSÃO

A partir do levantamento apresentado é possível uma aproximação às ideias sobre o ensino de estequiometria. Percebe-se que as categorias destacadas apresentam uma relação entre si: a percepção de dificuldades dos estudantes ao resolver problemas que envolvem estequiometria leva ao desenvolvimento de estratégias de ensino que auxiliem no aprendizado dos alunos. Artigos que apresentam o estado da arte da produção científica desenvolvidas podem auxiliar a pesquisadores e alunos de pós-graduação a dirigir seus estudos em campos não abordados ou ainda para aprofundar determinadas temáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16), *Studies in Science Education*, 18, pp. 53-85.
- Arasasingham, R. D.; Taagepera, M.; Potter, F.; Lonjers, S. (2004). Using knowledge space theory to assess student understanding of stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, 81(10), pp. 1517-1524.
- Ault, A. (2006). Mole city: a stoichiometric analogy. *Journal of Chemical Education*, 83(11), pp. 1587-1588.
- Bejarano; N.; Carvalho, A.M. (2000). A educação química no Brasil: uma visão através das pesquisas e publicações da área. *Educación Química*, 11(1), p.160-167.

- Balocchi et al, (2005) Aprendizaje cooperativo del concepto cantidad de sustancia con base en la teoría de Dalton y la reacción química. Parte I. *Educación Química*, 16(3), pp. 469-485. (2006). Aprendizaje cooperativo del concepto cantidad de sustancia con base en la teoría de Dalton y la reacción química. Parte II. *Educación Química*, 17(1), pp. 14-32.
- Bird, L. (2006). Stoichiometric calculations using equivalent molar expressions. *The Chemical Educator*, 11(6), pp 380-382.
- BouJaoude, S.; Barakat, H. (2003). Students' problem solving strategies in stoichiometry and their relationships to conceptual understanding and learning approaches. *Electronic Journal of Science Education*, 7(3), pp. 1-42.
- Dahsha, C. R.; Coll, S.; Sung-ong, N.; Yutakom, N.; Sanguanruang, S. (2008). Enhancing grade 10 thai students' stoichiometry understanding and ability to solve numerical problems via a conceptual change perspective. *Journal of Science and Mathematics Education in S.E. Asia*, 35(1), pp. 1-43.
- Davidowitz, B.; Chittleborough, G.; Murray, E. (2010). Student-generated submicro diagrams: a useful tool for teaching and learning chemical equations and stoichiometry. *Chemistry Education Research and Practice*. 11, p.154-164.
- Driver, R. (1985) Beyond appearances: the conservation of matter under physical and chemical transformations. In: Children's ideas in science, Filadelfia: Open University Press.
- Duncan, I.M.; Johnstone, A.H (1973). The mole concept. *Education in Chemistry*, 10(6), pp. 213-214.
- Furió, C. et al (1993). Concepciones de los estudiantes sobre una magnitud «olvidada» en la enseñanza de la química: la cantidad de sustancia. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), pp.107-114.
- Furió, C.; Azcona, R.; Guisasola, J. (1999) Dificultades conceptuales y epistemológicas del profesorado en la enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y de mol. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), p 359-376.
- Gabel, D.; Sherwood, R.D. (1984) Analyzing difficulties with mole-concept tasks by using familiar analog tasks. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(8), pp. 843-851.
- García, J.P. et al (1990) Ideas de los alumnos acerca del mol. Estudio curricular. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), pp. 111-119.
- Haim, L.; Cortón, E.; Kocmur, S.; Galagovsky, L. (2003). Learning stoichiometry with hamburger sandwiches. *Journal of Chemical Education*. 80(9), p. 1021-1031.
- Hinton, M.; Nakhleh, M. (1999) Students' microscopic, macroscopic and symbolic representations of chemical reactions. *The Chemical Educator*, 4(5), p.158-167.
- Huddle, P. A., Pillay, A. E. (1996). An in-depth study of misconceptions in stoichiometry and chemical equilibrium at a South African University. *Journal of Research in Science Teaching*. 33(1), pp. 65-77.
- Landau, L.; Lastres, L. (1996) Cambios químicos y conservación de la masa ¿Esta todo claro? *Enseñanza de las ciencias*, 14(2), pp. 171-174.
- Llorens, J. A. (1988). La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la escuela*, 4, pp. 33- 48.
- Megid Neto, J. (2007). Três décadas de pesquisas em Educação em Ciências: tendências de teses e dissertações. In: Nardi, R. (Org.). A pesquisa em ensino de ciências no Brasil: alguns recortes. São Paulo: Escrituras, p 341- 355.
- Migliato Filho, J. (2005) Utilização de modelos moleculares no ensino de estequiometria para alunos do ensino médio. Dissertação de mestrado. São Carlos: UFSCar.
- Nakhleh, M. (1993). Are our students conceptual thinkers or algorithmic problem solvers-Identifying Conceptual students in general Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 70, pp 52-55.

-
- Padilla, K.; Furió, C.; Azcona, R. (2005) Las visiones deformadas de la ciencia en la enseñanza universitaria de los conceptos de cantidad de materia. *Enseñanza de las ciencias*, número extra, pp. 1-5.
- Robinson, W. R. (2003). Chemistry problem-solving: symbol, macro, micro, and process aspects. *Journal of Chemical Education*, 80(9), pp. 978-982.
- Rogado, J. (2005) Ensino e aprendizagem da grandeza quantidade de matéria e sua unidade, o mol: a importância da história da ciência para sua compreensão. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, pp. 1-5.
- Rosa, M. I.; Schnetzler, R. (1998) Sobre a importância do conceito de transformação química no processo de aquisição do conhecimento químico. *Química Nova na Escola*. 8. pp. 31-35.
- Savoy, L.G. (1988) Balancing chemical equations, *School Science Review*, 69(249), pp. 713-720.
- Schmidt, H-J. (1997) An alternate path to stoichiometry problem solving. *Research in Science Education*. 27(2), pp. 237-249.
- Schmidt, H J. (1990). Secondary school students' strategies in stoichiometry. *International Journal of Science Education*, 12(4), pp. 457-471.
- Staver, J.R.; Lumpe, A.T. (1995) Two investigations of students understanding of the mole concept and its use in problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(2), pp. 177-193.
- Thamburaj, P. K. (2001) A known-to-unknown approach to teach about empirical and molecular formulas. *Journal of Chemical Education*, 78 (7), pp. 915-916.
- Toth, Z. (1999) Limiting reactant: an alternative analogy. *Journal of Chemical Education*, 76 (7), pp. 934-941
- Tóth Z.; Sebestyén A. (2009). Relationship between students' knowledge structure and problem-solving strategy in stoichiometric problems based on chemical equation, *Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education*, 1(1), pp. 8-20
- Verone, K.; Piazza, M. (2007). Estudo sobre dificuldades de alunos do ensino médio com estequiometria. *Atas ...Florianópolis*, pp. 1-10.
- Witzel, J.E. (2002). Lego stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, 79(3), pp. 352.
- Wood, C.; Breyfogle, B. (2006) Interactive demonstrations for mole ratios and limiting reagents. *Journal of Chemical Education*, 83 (5), pp. 741-748.